

AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE EM PAINÉIS DE TÉCNICA MISTA NAS EDIFICAÇÕES EXPERIMENTAIS UE1 E UE2

Hector Yudi Yokoyama Inafuku¹, Akemi Ino²

Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade (Habis), Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, IAU USP, Campus São Carlos, São Paulo, Brasil,

¹hactoryudi@usp.br; ²inoakemi@sc.usp.br

Palavras-chave: taipa de mão, arquitetura e construção com terra

Resumo

O presente artigo objetiva avaliar o desempenho com enfoque em durabilidade dos painéis pré-fabricados em técnica mista como sistema de vedação das Edificações Experimentais UE1 e UE2 construídas sob coordenação do Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade (Grupo Habis), entre os anos de 1998 e 1999. As duas edificações são produtos da pesquisa “Habitação Social: Concepção Arquitetônica e Produção de Componentes em Madeira de Reflorestamento e em Terra Crua”, financiado pela FAPESP (Proc. 95/9716-9), que visava o estudo e a produção de soluções construtivas de baixo carbono para habitação social com a utilização de materiais como terra e madeira. Para o subsistema de vedação, três técnicas foram utilizadas: colchão de ar em madeira, terra palha e a técnica mista. Foram propostos painéis modulares pré-fabricados com trama quadriculada em pinus serrado de dimensões de 0,75; 1,50; 3,00 x 2,40m. Após 25 anos da construção, propõe-se avaliar os nove painéis construídos na UE1 e os 18 painéis pré-fabricados da UE2, analisando e relacionando esses aspectos às características particulares de projeto, produção, operação e manutenção do edifício bem como sua relação com os fatores ambientais a que os painéis estiveram expostos, em particular a radiação solar. Os dados da pesquisa foram coletados a partir da revisão dos relatórios de ambas as construções e também por meio de registros fotográficos coletados via voo de drone, formulando os modelos fotogramétricos em alta resolução para a leitura das manifestações patológicas e investigação de suas possíveis causas. Com os resultados obtidos, se torna possível elencar os fatores que influenciaram o desempenho de cada painel, contribuindo desta forma para o desenvolvimento de diretrizes e recomendações para projetos em técnica mista e novos rumos para a produção de habitações sociais mais sustentáveis.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente a construção com terra no Brasil é associada, pelo senso comum, à precariedade, pobreza e insalubridade. A partir desta perspectiva equivocada, a técnica mista, popularmente conhecida no Brasil como “taipa de mão”, “pau a pique”, “taipa de sopapo”, entre outras designações, é percebida como uma técnica construtiva ultrapassada e de baixa durabilidade. Assim, como qualquer outro sistema construtivo, para garantir um bom desempenho, a técnica mista, também, prescinde do detalhamento construtivo cuidadoso e de controle das etapas da sua execução. Apesar das redes de pesquisas em arquitetura e construção com terra apresentarem seu avanço, a durabilidade ainda é uma questão que demanda pesquisas, tendo em vista a superação de inúmeros preconceitos relacionados à terra como material construtivo.

Entre os anos de 1998 e 1999, na Universidade de São Paulo, Campus São Carlos, foram construídas duas Unidades Experimentais de Habitação (figura 1), como parte da pesquisa “Habitação Social: Concepção Arquitetônica e Produção de Componentes em Madeira de Reflorestamento e em Terra Crua” (Ino et al., 2000).

A construção dessas edificações teve como objetivo pesquisar o uso de tecnologias de baixo carbono para projeto e produção de habitação social, examinando o seu processo de produção, a organização de canteiro de obras, as ferramentas necessárias e a forma de trabalho. Visava também avaliar o desempenho das unidades ao longo do tempo. Estas

unidades foram construídas utilizando estrutura principal em sistema pilar e viga de eucalipto serrado com fechamento em três tipos de técnica: terra palha, técnica mista e colchão de ar.



Figura 1: Unidades Experimentais de Habitação UE1 (esquerda-vista leste) e UE2 (direita-vista oeste)

A técnica mista, termo este definido Rede Ibero Americana de Arquitetura e Construção com Terra (PROTERRA) para enquadrar as técnicas que tem como princípio a presença de um sistema estrutural, o entramado, sendo de madeira ou bambu que suporta o enchimento e revestimento de terra (Garzón, 2011). A vedação utilizada nas áreas úmidas de ambas as edificações é composta por trama de madeira serrada de *Pinus elliottii* em painéis pré-fabricados.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho da técnica mista empregada nas paredes das UE1 e UE2 com foco em durabilidade.

2.2 Objetivos Específicos

1. Compreender os fundamentos da técnica mista.
2. Caracterizar as condições de exposição a fatores ambientais em que as paredes das unidades experimentais estão submetidas.
3. Caracterizar as interfaces de vedação externa da técnica mista entre os sistemas de fundação, de estrutura principal e de cobertura.
4. Estabelecer os critérios e requisitos para a avaliação de desempenho em durabilidade das paredes em técnica mista.
5. Identificar as possíveis causas e origens das manifestações patológicas da técnica mista executada

3 METODOLOGIA ADOTADA

A metodologia adotada foi adaptada de Souza (2015) seguindo as seguintes etapas:

- a) Identificação das exigências de usuário;
- b) Caracterização das edificações e suas condições projetuais;

- c) Caracterização das condições de exposição (implantação);
- d) Estabelecimento dos requisitos (qualitativos) e dos critérios de desempenho (quantitativos) a serem atendidos;
- e) Desenvolvimento de planilhas de identificação das manifestações patológicas e análise de suas possíveis causas;
- f) Avaliação do desempenho com verificação do atendimento dos requisitos e critérios estabelecidos.

3.1 Identificação das exigências do usuário

Dentre as diversas exigências do usuário definidas pela ISO/DP 6241 (1981), que tem como base para a avaliação de desempenho no método de Souza (2015), para a presente pesquisa foram adotadas as exigências de durabilidade.

Assim como qualquer outro sistema construtivo, a técnica mista requer atenção aos detalhes construtivos tais como proteção contra as ações do tempo e de características de implantação para que, após a sua ocupação, as edificações mantenham a sua funcionalidade e durabilidade (Lopes, 1998). Portanto, a análise feita nesta pesquisa não considera os painéis como elementos isolados, mas tendo em vista a relação entre as características específicas de projeto, produção, operação e manutenção do edifício como elementos fundamentais para a compreensão de seu desempenho em durabilidade.

3.2 Caracterização das edificações e condições projetuais

Para compreender o desempenho dos edifícios ao longo de sua vida útil, é necessário elencar o conjunto de ações que atuam sobre eles, assim como essas se relacionam com suas particularidades de projeto. Os respectivos dados foram coletados a partir de visitas técnicas acompanhadas da constante leitura e revisão dos relatórios de pesquisa elaborados entre 1996 e 2000 para a FAPESP (Proc.95/9716-9), que descrevem detalhadamente as etapas de construção, estabelecendo a caracterização dos edifícios, seu design e condições de exposição.

Na UE1, foram experimentados nove painéis ao todo, sendo três medindo 0,10 x 3,00 x 2,40m e seis 0,10 x 1,50 x 2,40m, de pilar a pilar, com a interface (painel/pilar) preenchida com resina de mamona. A trama estabelecida para o suporte do barreamento foi construída a partir do espaçamento vertical e horizontal de 15cm de ripas de madeira pinus (figura 2).

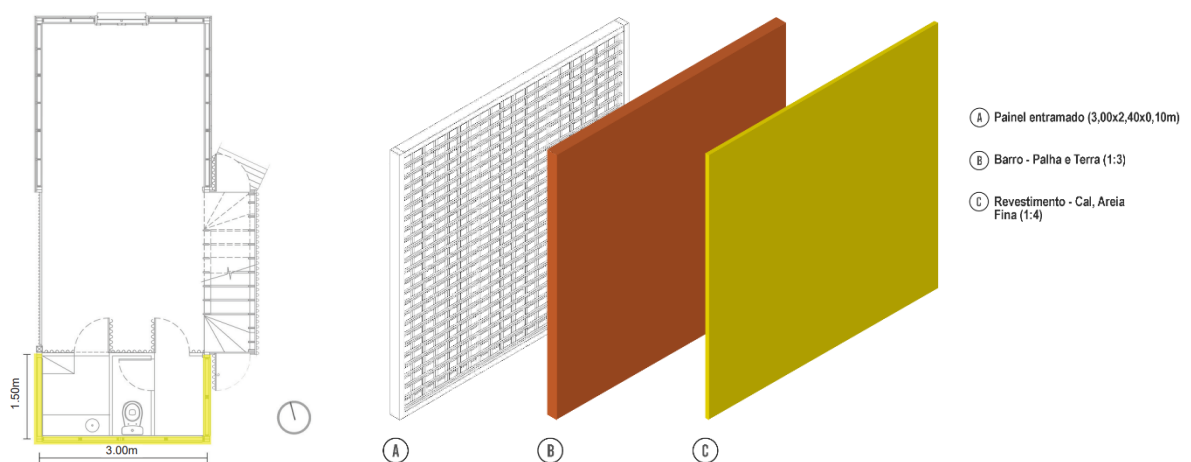


Figura 2: Planta e detalhamento dos painéis em técnica mista da UE1

Na UE2, foram construídos dezoito painéis ao todo, definindo a modulação de 0,75m que com o alinhamento de quatro painéis modulares em sequência vence o vão de 3m estabelecido pelo sistema estrutural da edificação. Sendo no total doze painéis medindo 0,10 0,75 x 2,40m

e seis 0,10 x 0,75 x 0,30m, o entramado também foi espaçado de 15 cm. A interface (painel-pilar e painel-painel) em junta seca foi resolvida colocando mata-juntas (2,5 x 5,0 cm) em ripas de madeira (figura 3).

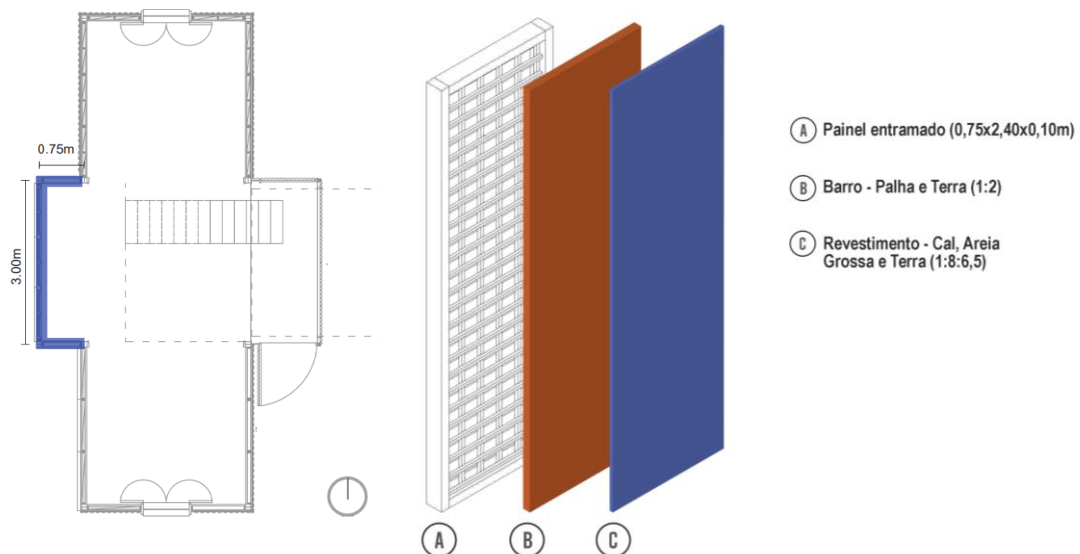


Figura 3: Planta e detalhamento dos painéis em técnica mista da UE2

3.3 Caracterização das condições de exposição

Em relação às condições de exposição, atualmente, a UE1 e UE2 abrigam os grupos de pesquisa do IAU-USP Nomads e Habis respectivamente na Universidade de São Paulo – Campus São Carlos.

As condições climáticas em que os painéis de técnica mista estão submetidos (figura 4) podem ser descritas, da seguinte forma: a) os painéis em amarelo (UE1) têm suas faces voltadas para Leste, Oeste e Sul; b) os painéis em azul (UE2) estão voltados para face Norte, Sul e Oeste, recebendo incidência solar no período da tarde, estando exposto a maiores oscilações de temperatura durante o dia.

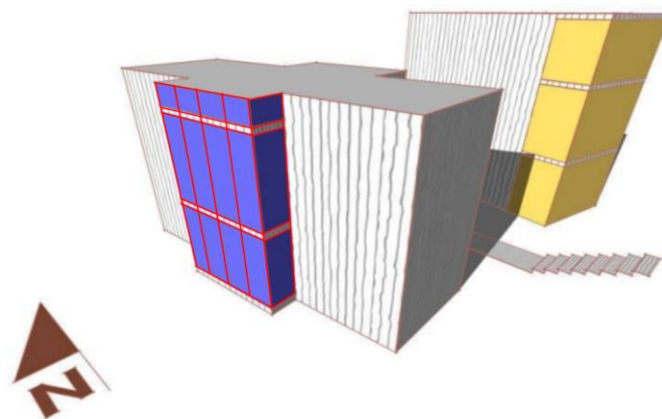


Figura 4: Orientação dos painéis em técnica-mista: UE1 (amarelo) e UE2 (azul) (adaptado em 2023 de Maia et al., 2009)

3.4 Estabelecimento dos requisitos e critérios a serem atendidos

Para avaliar a durabilidade dos painéis de técnica mista dos dois edifícios, foram definidos requisitos (qualitativos) e critérios (quantitativos) a serem atendidos.

Os requisitos estabelecidos constituem-se a partir da integridade do revestimento, sendo inadmissível a presença de destacamentos do revestimento, que expõe a estrutura interior do entramado, e a presença de fissuras, cujo o critério admissível para a presença de frestas e fissuras

e que sejam inferiores a 1mm de espessura. Os destacamentos e as manchas não são avaliados por critérios quantitativos.

3.5 Desenvolvimento de planilhas de identificação de manifestações patológicas

A verificação dos critérios e requisitos é realizada pela identificação e análise visual das manifestações patológicas, incluindo fissuras, manchas e destacamentos do revestimento. Para isso, foram desenvolvidas fotogrametrias das fachadas da edificação a partir de fotografias retiradas por meio de voos de drone. Para esta pesquisa, um drone d@a modelo "Dji Mavic Air 2" (figura 6) foi pilotado com autorização da prefeitura do campus.



Figura 6: Drone Mavic Air 2 capturando as fachadas da UE1 (esquerda), foto capturada (direita)

A fotogrametria de cada fachada foi elaborada utilizando o software de processamento de nuvens de pontos *Agisoft Metashape Pro* e posteriormente editada no software *Cloud Compare* (figura 7) no Laboratório de Desenho Digital do Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU-USP).

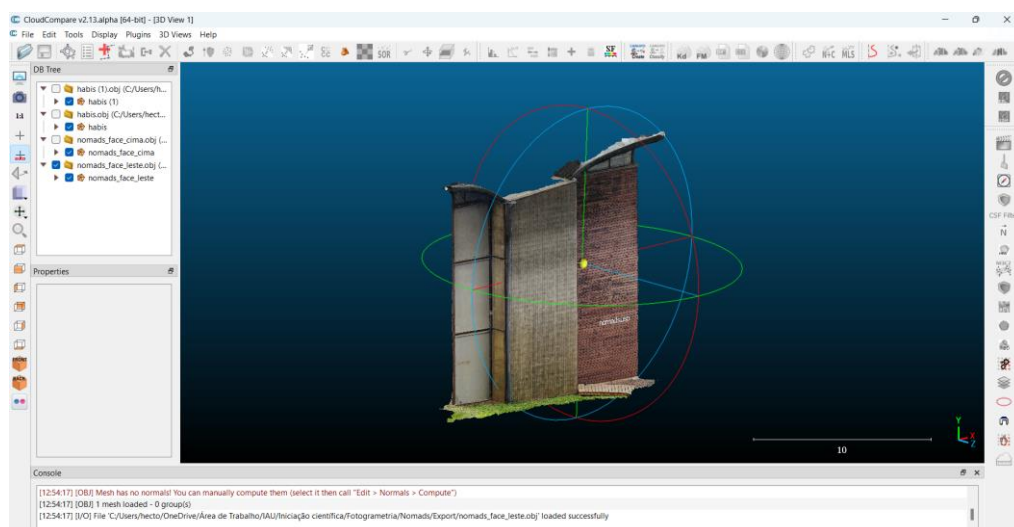


Figura 7: Modelo tridimensional da face Leste da UE1 no software Cloud Compare.

Por fim, foi desenvolvido uma planilha de identificação das manifestações patológicas (figuras 8 e 9), levantadas durante a pesquisa, juntamente com todos os dados coletados de

implantação e de projeto. Cada painel passou então pelo processo de verificação e classificação com base no atendimento ou não aos requisitos e critérios definidos, assim como a análise das possíveis causas das manifestações patológicas.

PLANILHA DE IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS																		
Obra: Unidade Experimental Habis (002)	Ano de construção: 1999		São Carlos - SP (USP Campus I)															
Avaliação por Yudi Yokoyama Inafuku	Pesquisa de Iniciação Científica Pibic USP (CNPq)																	
Data de levantamento: 23 de Novembro de 2022																		
Planta Baixa																		
FACE NORTE		<table border="1"> <thead> <tr> <th>VARIÁVEIS</th> <th>002</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1- Dimensões dos painéis</td> <td>0,75 x 2,40 x 0,10m / 0,75 x 0,30 x 0,10m</td> </tr> <tr> <td>2- Local de produção dos painéis</td> <td>Pré-Fabricação em Marcenaria</td> </tr> <tr> <td>3- Traço do barro de vedação</td> <td>1:2 de Palha e Terra</td> </tr> <tr> <td>4- Traço do barro do reboco</td> <td>1:8:8 de Cal, Areia Grossa e Terra</td> </tr> <tr> <td>5- Traço do barro do emboço</td> <td>1:8:6:5 de Cal, Areia Fina e Terra</td> </tr> <tr> <td>6- Interface Painel/Painel</td> <td>Mata-Junta em Ripa de Madeira</td> </tr> <tr> <td>7- Interface Estrutura/Barreado</td> <td>Mata-Junta em Ripa de Madeira</td> </tr> </tbody> </table>	VARIÁVEIS	002	1- Dimensões dos painéis	0,75 x 2,40 x 0,10m / 0,75 x 0,30 x 0,10m	2- Local de produção dos painéis	Pré-Fabricação em Marcenaria	3- Traço do barro de vedação	1:2 de Palha e Terra	4- Traço do barro do reboco	1:8:8 de Cal, Areia Grossa e Terra	5- Traço do barro do emboço	1:8:6:5 de Cal, Areia Fina e Terra	6- Interface Painel/Painel	Mata-Junta em Ripa de Madeira	7- Interface Estrutura/Barreado	Mata-Junta em Ripa de Madeira
VARIÁVEIS	002																	
1- Dimensões dos painéis	0,75 x 2,40 x 0,10m / 0,75 x 0,30 x 0,10m																	
2- Local de produção dos painéis	Pré-Fabricação em Marcenaria																	
3- Traço do barro de vedação	1:2 de Palha e Terra																	
4- Traço do barro do reboco	1:8:8 de Cal, Areia Grossa e Terra																	
5- Traço do barro do emboço	1:8:6:5 de Cal, Areia Fina e Terra																	
6- Interface Painel/Painel	Mata-Junta em Ripa de Madeira																	
7- Interface Estrutura/Barreado	Mata-Junta em Ripa de Madeira																	
FACE OESTE		<p>Requisitos e critérios</p> <p>Requisitos: ausência de fissuras ou desprendimentos no reboco e ausência de espaços entre os painéis e a estrutura principal de madeira.</p> <p>Crítérios: fissuras devem assumir valores inferiores a 1 mm.</p> <p>Descrição das Manifestações Patológicas:</p> <p>Na face Sul há predominância de manchas de umidade geradas pelo contato direto com respingo d'água. Apesar disso, de todas as faces, é a única ausente de destacamentos, contando apenas com fissuras.</p> <p>A face Oeste é onde se encontra a maior quantidade de destacamentos na vedação, sendo a face O2 e O3 completamente destacadas.</p> <p>A face Norte apresenta destacamento total no painel N1 e metade do painel N2, sendo ainda muito presente de fissuras. Além disso, há grande presença de manchas de umidade no painel N3 mais próximo ao chão.</p> <p>Como descrito por LOPES (1998), a umidade é o principal fator de deterioração da talpa, assim, o seu desenho deve considerar elementos que consigam garantir a proteção contra infiltração e acúmulo de contato direto da água com a terra. Portanto, as características da fundação, revestimento, cobertura e interface entre os materiais são fundamentais para a compreensão do desempenho da edificação.</p> <p>A partir do desenho da Unidade 002, foi identificado que os painéis em talpa de mão foram elevados 20cm sobre a fundação em relação ao solo. Considerando que a altura mínima da fundação para evitar a deterioração da parede em relação a umidade é de 40 cm (LOPES, 1998), é possível compreender a concentração de manchas nas bases dos painéis S3 e N3 que se formaram a partir do constante respingo de água nos painéis. Além disso, esse fator também pode ter contribuído para o colapso total dos painéis O3.</p> <p>Compreendendo que a cobertura apresenta papel fundamental para o desempenho das paredes em terra, cabe destacar que a ausência de beirais na unidade 002, contando apenas com pingadeiras nos painéis, não foi suficiente para a proteção tanto da água da chuva quanto da incidência da luz solar.</p> <p>Além desses fatores, uma questão projetual que pode ter sido crucial para o destacamento da face Oeste é o sistema de interface entre painel-painel e painel-estrutura de mata-junta em ripa de madeira. Com a variação de temperatura gerada pelo sol de fim de tarde, é possível que variações dimensionais geradas pela madeira tenham afetado a interface entre materiais, permitindo a infiltração e acúmulo de água e consequentemente ao apodrecimento da madeira da estrutura e da trama de madeira interna e o destacamento da terra.</p> <p>Apesar da presença de inúmeras fissuras, é possível afirmar que apenas os painéis S1, S2, S3 e N3 da Unidade 002 conseguem atender aos requisitos e critérios estabelecidos.</p>																
FACE SUL		<p>Com a água da cobertura direcionando o escoamento para a direção Sul, somada ao posicionamento de uma pedra logo sobre a base do edifício, a fachada de mesmo sentido sofre incidência constante de respingos de água, levando a formação de manchas de umidade</p>																

Figura 8: Ficha de identificação de manifestações patológicas da UE2

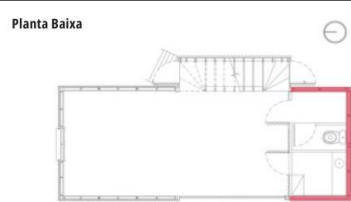

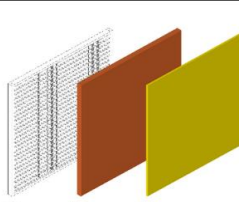
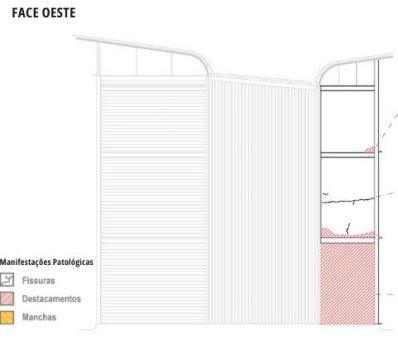

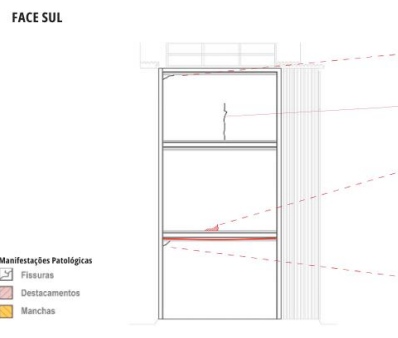


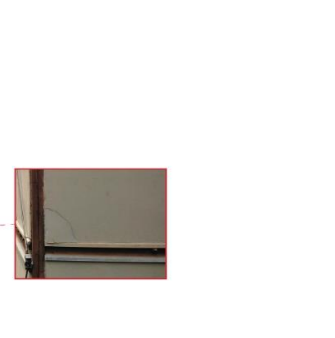
PLANILHA DE IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS																	
Obra: Unidade Experimental Nomads (001)	Ano de construção: 1999 São Carlos - SP (USP Campus I)																
Avaliador(a) : Hector Yudi Yokoyama Inafuku	Pesquisa de Iniciação Científica Pibic USP (CNPq)																
Data de levantamento: 23 de Novembro de 2022																	
   <p>A - Painel B - Barro C - Revestimento</p>																	
<p>FACE OESTE</p>   <p>Manifestações Patológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Fissuras <input checked="" type="checkbox"/> Destacamentos <input checked="" type="checkbox"/> Manchas <p>O painel mais abaixo da fachada oeste foi completamente destacado sendo assim substituído por uma chapa de OSB</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>VARIÁVEIS</th> <th>001</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1- Dimensões dos painéis</td> <td>3,00 x 2,40 x 0,10m / 1,50 x 2,40 x 0,10m</td> </tr> <tr> <td>2- Local de produção dos painéis</td> <td>Produção em Loco</td> </tr> <tr> <td>3- Traço do barro de vedação</td> <td>1:3 de Palha e Terra</td> </tr> <tr> <td>4- Traço do barro do reboco</td> <td>1:4 de Cal e Areia Fina</td> </tr> <tr> <td>5- Traço do barro do emboço</td> <td>Terra</td> </tr> <tr> <td>6- Interface Painel/Painel</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>7- Interface Estrutura/Barreado</td> <td>Impermeabilizante a base de óleo de mamona</td> </tr> </tbody> </table>		VARIÁVEIS	001	1- Dimensões dos painéis	3,00 x 2,40 x 0,10m / 1,50 x 2,40 x 0,10m	2- Local de produção dos painéis	Produção em Loco	3- Traço do barro de vedação	1:3 de Palha e Terra	4- Traço do barro do reboco	1:4 de Cal e Areia Fina	5- Traço do barro do emboço	Terra	6- Interface Painel/Painel	-	7- Interface Estrutura/Barreado	Impermeabilizante a base de óleo de mamona
VARIÁVEIS	001																
1- Dimensões dos painéis	3,00 x 2,40 x 0,10m / 1,50 x 2,40 x 0,10m																
2- Local de produção dos painéis	Produção em Loco																
3- Traço do barro de vedação	1:3 de Palha e Terra																
4- Traço do barro do reboco	1:4 de Cal e Areia Fina																
5- Traço do barro do emboço	Terra																
6- Interface Painel/Painel	-																
7- Interface Estrutura/Barreado	Impermeabilizante a base de óleo de mamona																
<p>FACE SUL</p>   <p>Manifestações Patológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Fissuras <input checked="" type="checkbox"/> Destacamentos <input checked="" type="checkbox"/> Manchas <p>Requisitos e critérios</p> <p>Requisitos: ausência de fissuras ou desprendimentos no reboco e ausência de espaços entre os painéis e a estrutura principal de madeira.</p> <p>Crítérios: fissuras devem assumir valores inferiores a 1 mm.</p> <p>Descrição das Manifestações Patológicas:</p> <p>No que se refere a Unidade 001, os painéis voltados para a face Sul, foram encontrados no painel S1 duas fissuras, sendo uma na quina da superior esquerda e outra em direção vertical surgindo da base e se alongando em direção ao topo do painel. Diante as possíveis causas do surgimento da fissura na base, está a possível movimentação na estrutura, que por conta do vento, acabou propiciando essa patologia nas esquinas. A fissura da quina pode estar relacionada à deformação na viga inferior que está apontada pela linha horizontal na prancha abaixo, a qual levou ao peso da terra a formação dessas fissuras. Nos painéis S2 e S3 foram identificados destacamentos e fissuras, além de diversos restauros no S3, sendo localizados nas mesmas posições do painel S1, podendo estar relacionado a mesma causa.</p> <p>No que concerne a face Leste (L1; L2; L3), as patologias identificadas são em sua maioria manchas, contendo apenas um destacamento na esquina inferior esquerda do painel L2.</p> <p>Ambas as face Leste e Oeste apresentam um bom desempenho no que tange às interfaces de terra e estrutura em madeira, o que pode estar relacionado a resina de óleo de mamona aplicados na técnica-mista.</p> <p>A face Oeste, se destaca em relação às outras devido à maior gravidade das patologias. Além das fissuras, tanto nos painéis O1 e O2, há presença de grandes destacamentos concentrados na região inferior do painel, além de um destacamento no painel O2 na interface terra-estrutura. O painel O3 se evidencia pela retirada total da terra crua e seu revestimento.</p> <p>A exposição de variação de temperatura no fim da tarde dos painéis na face Oeste também pode ter sido uma possível causa para o não atendimento dos requisitos estabelecidos em nenhum dos painéis. Somadas as questões já levantadas anteriormente, as patologias identificadas podem estar relacionadas a variação dimensional da madeira gerada pela oscilação de temperatura, afetando as interfaces entre materiais e contribuindo para infiltração e acúmulo de água na trama em madeira, levando ao seu apodrecimento.</p> <p>Por fim, pode se afirmar que apenas os painéis S1, S3, L1 e L3 conseguem atender os critérios e requisitos estabelecidos.</p>																	
<p>FACE LESTE</p>   <p>Manifestações Patológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Fissuras <input checked="" type="checkbox"/> Destacamentos <input checked="" type="checkbox"/> Manchas 																	

Figura 9. Ficha de identificação de manifestações patológicas da UE1

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dos nove painéis avaliados da UE1, quatro atenderam todos os requisitos e critérios estabelecidos, sendo dois situados na face Sul e dois na face Leste. Os 3 painéis da face Oeste não atenderam aos requisitos.

Na UE2, do total de 18 painéis avaliados, apenas quatro atenderam os requisitos e critérios definidos, sendo três presentes na face Sul e um na face Norte. Os painéis da face Oeste, foram completamente destacados, a parede do pavimento inferior foi substituída por vedação em chapa OSB sobre o quadro de madeira serrada.

Em uma análise comparativa, as dimensões e a quantidade de manifestações patológicas do UE2 foram significativamente maiores, tendo 6 manchas, 13 fissuras e 14 destacamentos, em contraposição ao UE1, com 5 manchas, 6 fissuras e 5 destacamentos (tabela 1). Ao todo, apenas 22% dos painéis da UE2 atenderam aos critérios e requisitos estabelecidos, enquanto na UE1 foi de 44%.

Tabela 1: Síntese da avaliação de desempenho dos painéis de taipa de mão das UE1 e UE2

Edificação	Painéis avaliados	Manifestações patológicas			Painéis que atendem aos critérios e requisitos
		mancha	fissura	destacamento	
UE1	9	5	6	5	4 (44%)
UE2	18	6	13	14	4 (22%)

A avaliação dos painéis das unidades experimentais, após os 25 anos de exposição sem manutenção, indica que as fachadas Sul e Leste da UE1 e a fachada Sul da EU2 tiveram desempenho aceitável, sem manifestações patológicas identificadas, o que sugere a importância da orientação em relação ao sol.

A durabilidade da taipa de mão depende muito da execução e do detalhamento construtivo das interfaces entre os painéis e o barro. Sendo a umidade o principal fator de deterioração da taipa (Lopes, 1998), o destacamento quase total da fachada Oeste da UE2 está relacionado à solução adotada em painéis modulares de 75cm com as juntas dos quadros expostas e coberto com uma mata-junta em ripa de madeira. Com a exposição à alta radiação solar e as variações dimensionais ocorridas na madeira da mata-junta, formaram-se frestas e fissuras que ocasionaram na infiltração e acúmulo de água de chuva nas paredes de terra, provocando o início do apodrecimento da madeira da trama, e consequente perda da sustentação, causando o destacamento da terra e o desprendimento do revestimento. A ausência de beirais e o fato dos painéis na UE2 serem elevados apenas 20cm de altura sobre a fundação em relação ao solo, considerando que a altura mínima da fundação para evitar a deterioração da parede em relação a umidade é de 40 cm (Lopes, 1998), contribuíram na formação das manchas nas bases dos painéis da face Norte e Sul que se formaram a partir do constante respingo de água nos painéis, fator esse que também pode ter contribuído para o colapso total dos painéis na face Oeste.

Ao se analisar as três fachadas do UE1, percebe-se uma concentração de fissuras e destacamento nos cantos dos painéis. A possível causa desse padrão é a questão da movimentação da estrutura por conta dos ventos, tornando as regiões das quinas suscetíveis a fissuras. Conseqüentemente, a presença de fissuras e deformações, torna propício a infiltração de água na vedação, levando ao apodrecimento da trama e destacamentos da terra.

Outro aspecto a ser destacado na UE1 foi o uso da resina de mamona na interface entre o revestimento e o pilar, um componente flexível que possibilitou absorver a dinâmica das alterações dimensionais distintas dos dois materiais, evitando o surgimento das frestas entre o painel (terra) e o pilar de madeira, garantindo o bom desempenho ao longo de 25 anos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica-mista, apesar de apresentar inúmeras qualidades em termos econômicos, técnicos, sociais e ambientais, assim como qualquer outro processo construtivo, é imprescindível o planejamento prévio, em que seja realizado um estudo de implantação e análise da viabilidade

técnica visando o melhor desempenho, durabilidade e funcionalidade da edificação (Lopes, 1998).

Após cerca de vinte e cinco anos de uso, o projeto Jovens Pesquisadores em Centros Emergentes da FAPESP (Ino et al, 2000) que gerou a UE1 e UE2 continua como objeto de pesquisa, permitindo inúmeras investigações sobre o desempenho dos 5 subsistemas (estrutura, vedação, esquadrias, cobertura e instalações) assim como na sua proposta inicial. Cabe destacar que os fatores das condições de exposição foram cruciais para o desempenho das técnicas mistas no subsistema de vedação. Para isso, na etapa de projeto, é imprescindível que sejam elaborados instrumentos, técnicas e processos construtivos que permitam garantir que as paredes em taipa de mão apresentem a durabilidade e desempenho desejado, considerando as condições de exposição que serão expostas.

Compreendendo a taipa de mão como uma técnica ainda muito estigmatizada, muitas vezes associada a “pobreza e insalubridade”, pelo senso comum, o estudo científico sobre esta técnica tradicional permite contribuir para o combate a essas percepções prejudiciais e equivocadas e abrir novas perspectivas para mudança necessária na construção civil, que buscam soluções mais sustentáveis e menos predatória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Garzón, L. (2011). Técnicas mistas. Em: Técnicas de construção com terra, Bauru - SP, Faculdade de Disponível em: <https://redeterrabrasil.net.br/publicacoes-proterra/>
- Ino, A.; Shimbo, I.; Tramontano, M. (2000). Projeto jovens pesquisadores Proc. FAPESP nº 95/9716-9, Habitação Social: Concepção arquitetônica e produção de componentes em madeira de reflorestamento e em terra crua. Relatório Científico - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- ISO-DP 6241 (1981). Performance standards in buildings: principles for their preparation and factors for inclusion. London: International Organization for Standardization.
- Lopes, W. G. R. (1998). Taipa de mão no Brasil: Levantamento e análise de construções. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo, São Carlos
- Maia, R. T.; Barreto, M. G. C.; Folz, R. R.; Sertori, R. J. V.; Dias, G.; Ino, A.; Shimbo, I. (2009). Avaliação de desempenho das vedações de taipa de mão executadas em duas edificações-protótipo. Caso: Unidades Experimentais 001 e 002 - EESC/USP. VIII Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra / II Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra, San Miguel de Tucumán. p. 352-359.
- Souza, R. (2015). O conceito de desempenho aplicado a edificações. Escola Politécnica da USP. São Paulo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento da bolsa de iniciação científica no programa PIBIC USP que possibilitou a realização desta pesquisa.

AUTORES

Hector Yudi Yokoyama Inafuku, aluno de graduação no curso de Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP) e pesquisador na área de tecnologias construtivas de baixo carbono no Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade (Habis-USP) Currículo completo em <http://lattes.cnpq.br/9048006529761722>

Akemi Ino, doutora em engenharia civil pela Escola Politécnica da USP e mestre em arquitetura e urbanismo pela EESC USP; professora livre docente, associado doutor no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU USP) e coordenadora do Grupo de Pesquisa em Habitação em Sustentabilidade (Habis-USP) Currículo completo em <http://lattes.cnpq.br/1346680801367111>